

TUBINGEN

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen

chem. Direktor: Professor Dr. med. L. Fischer

Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit
auf die Körpertemperaturen
und die Wärmedurchgangszahlen der Hand
im oberen Indifferenzbereich

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Günter Prade
aus Tetschen a. d. Elbe

1967

LANE MEDICAL LIBRARY OF
STANFORD UNIVERSITY
300 PASTEUR
PALO ALTO, CALIFORNIA

9010



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit
auf die Körpertemperaturen
und die Wärmedurchgangszahlen der Hand
im oberen Indifferenzbereich

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Günter Prade
aus Tetschen a. d. Elbe

1967

Dekan: Professor Dr. F. Lembeck

1. Berichterstatter: Dozent Dr. W. Höfler
2. Berichterstatter: Professor Dr. H.J. Knüttgen

Meinen lieben Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. EINLEITUNG	1
1. Das Klima als komplexe Größe	1
2. Die Regulation des Wärmehaushaltes in Ruhe	3
3. Fragestellung	6
B. METHODIK	8
1. Die Klimakammer	8
2. Meßprogramm und verwendete Geräte	8
3. Die Kalorimeterpille nach Aschoff	10
4. Die Versuchspersonen	11
5. Das Versuchsprogramm	12
6. Auswertungsmethoden	13
C. ERGEBNISSE	14
1. Beschreibung von 2 typischen Kurvenverläufen mit Abbildungen	14
Abbildung 1	15
Abbildung 2	16
2. Die Abhängigkeit der akralen Extremitätentemperaturen, der Kerntemperatur und der Integralen Hauttemperatur vom Wasserdampfdruck	18
Tabelle 1; Zusammenstellung der Ergebnisse von Mund, Zehe, Fuß, Daumen, Hand und Integraler Hauttemperatur bei 26 ° C und bei 29 ° C	19
3. Die Abhängigkeit der akralen Extremitäten- temperaturen vom Wasserdampfdruck	20
Abbildung 3	21
Abbildung 4	22
Abbildung 5	23

4. Weitere Ergebnisse: Verhalten von Kerntemperatur, Integraler Hauttemperatur, von Puls und Atmung	24
5. Die Wärmedurchgangszahl k_i in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck p_d (Abbildung 6 und Tabelle 2)	25
Abbildung 6	26
Tabelle 2	27
6. Der trockene Wärmestrom Q in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck p_d	28
D. DISKUSSION	29
1. Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Körpertemperaturen und auf die Wärmedurchgangszahlen der Hand	29
Abbildung 7	33
E. ZUSAMMENFASSUNG	34
F. LITERATUR	35

Lebenslauf

A. EINLEITUNG

1. Das Klima als komplexe Größe

Für die Wirkung eines bestimmten Klimazustandes auf den Menschen ist nicht allein die Lufttemperatur verantwortlich. Daneben sind die Faktoren **Luftfeuchte**, **Luftbewegung** und **Strahlung** von sehr großer Bedeutung. Das macht schon die Tatsache klar, daß ein warmes und dazu sehr "feuchtes" Klima, wie es etwa im tropischen Urwald anzutreffen ist, von uns viel unangenehmer empfunden wird, als ein gleich warmes aber "trockenes" Klima. Je nachdem, wie also Lufttemperatur, Luftbewegung, Luftfeuchte und Strahlung miteinander kombiniert sind, übt der sich ergebende "thermische Gesamtzustand" auf den Menschen sowohl subjektiv als auch objektiv eine andere Wirkung aus. Es ist aber auch denkbar, daß verschiedene Kombinationen dieser Größen im Hinblick auf die Thermoregulation gleich empfunden werden. Für bestimmte Industriezweige, wie zum Beispiel Ziegeleien, Eisengießereien oder Walzwerke, also für sog. "Hitzebetriebe" ist es von entscheidender Bedeutung, die Wirkung des bei ihnen herrschenden "Arbeitsplatzklimas" zu kennen. Daneben ist es von Interesse, die physiologische Wirkung der einzelnen Raumklimata vergleichen zu können und gegebenenfalls Empfehlungen herauszugeben. Gilt es doch Hitzebelastung und Arbeitszeit aufeinander abzustimmen und eventuell bestimmte Hitzezuschläge zu gewähren.

Dazu müßte man aber einen einzigen, möglichst einfachen Zahlenwert erarbeiten, der die einzelnen Klimafaktoren in sich vereinigt.

Nach Brüner gibt es 18 verschiedene Maßstäbe, die für Klima-Summenwertmessungen ausgearbeitet wurden.

Bereits im Jahre 1905 erkannte Haldane, daß eine Lufttemperatur, die mit einem Trockenthermometer gemessen ist (Trockentemperatur), subjektiv je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft verschieden beurteilt wird. Dagegen fand er, daß die von einem befeuchteten Thermometer angezeigte Temperatur (Feuchttemperatur) einen wesentlich besseren Maßstab für die Erschwerung einer Arbeit in einem warmen Klima darstellt.

In den Jahren 1924 - 1927 machte Yaglou eine größere Anzahl von Klimakammerversuchen. Er suchte die Kombination der Faktoren Windgeschwindigkeit, Feuchte und Temperatur, die dieselbe Empfindung auslöst, wie eine Tempera-

tur bei Windstille und 100 % Feuchtigkeit. Diesen bei einer größeren Anzahl von Versuchspersonen ermittelten Wert nannte er "Effektivtemperatur".

Der große Nachteil ist aber, daß dieser Wert an sitzenden, also ruhenden Versuchspersonen gewonnen wurde, die der jeweiligen Kombination von Klimafaktoren relativ kurz ausgesetzt waren. Ein weiterer Nachteil der "originalen Effektivtemperatur" war, daß sie den Strahlungsanteil nicht berücksichtigte, der sich ergab, wenn Lufttemperatur und Strahlungstemperatur nicht übereinstimmten.

So empfahlen Vernon und Warner im Jahre 1932, anstatt der Trockentemperatur die Globe-Temperatur in die Nomogramme einzusetzen. Daraus ergab sich dann die sog. "korrigierte Effektivtemperatur".

Andererseits wurden verschiedene technische Meßgeräte geschaffen, die die einzelnen klimabestimmenden Einzelfaktoren der "komplexen Größe Klima" zu einem einzigen Meßwert verarbeiteten.

Diese Geräte finden vor allem in Luftkurorten Verwendung, wo sie zur Beurteilung des herrschenden Klimas herangezogen werden.

Eines der bekanntesten dieser Klimasummen-Meßgeräte ist der Frigorigraph von Pfeleiderer und Büttner. Das Gerät mißt die Temperatur eines Probekörpers, der in seinen thermischen Eigenschaften so konstruiert ist, daß er der menschlichen Haut sehr nahe kommt. Es handelt sich bei dem Probekörper um eine dünnwandige, doppelschalige Kupferhohlkugel mit einem Durchmesser von 15 cm. Der Krümmungsradius der Kugel entspricht dem mittleren Krümmungsradius der Oberfläche des menschlichen Körpers. Mit der rötlich-gelben Farbe der Kugel wurde ein Farbton gewählt, der sowohl im sichtbaren als im ultraroten Spektralbereich einen Absorptionskoeffizienten hat, der demjenigen von heller Europäerhaut am nächsten kommt. Die Kugel wird innen so geheizt, daß die Oberflächentemperatur der menschlichen Hauttemperatur unter thermisch indifferenten Bedingungen entspricht.

Gemessen wird die Oberflächentemperatur der Kugel. Diese ergibt sich aus der gemeinsamen Wirkung von Lufttemperatur, Luftbewegung, Einstrahlung aus der Atmosphäre einschließlich infraroter Abstrahlung auf die Umgebung und aus der Wirkung des Luftdruckes auf den Leitungsanteil der Entwärmung. Diese sog. "Abkühlungsgröße" ist nach Pfeleiderer im thermoidifferenten Bereich mit der Integralen Hauttemperatur des Menschen gut korreliert.

Allerdings ist ohne weiteres einzusehen, daß unter Verhältnissen, die beim Menschen zur Schweißsekretion führen, diese Beziehung aus konstruktionstechnischen Gründen gestört sein muß.

2. Die Regulation des Wärmehaushaltes in Ruhe

Den Wärmehaushalt des Menschen kann man mit dem Finanzhaushalt einer Bank vergleichen. Ist dieser ausgeglichen, so müssen sich Einnahmen und Ausgaben die Waage halten. Wenden wir dieses Prinzip auf den Wärmehaushalt an, so muß die Wärmebildung der Wärmeabgabe gleich sein. Es muß demnach in der Zeiteinheit genauso viel Wärme abgegeben werden, wie gebildet wird.

Die Wärmebildung ist am ruhenden Menschen nahezu konstant und nur in sehr engen Grenzen variabel, denn die Wärme ist ein Nebenprodukt der immer ablaufenden, lebenserhaltenden Stoffwechselvorgänge. Am ruhenden Menschen ist der Ort der Wärmebildung der "Kern". Als solchen bezeichnet man die Brust- und Baueingeweide und das Gehirn. In nur 8 % der Körpermasse werden 72 % der gesamten Wärme gebildet, während die "Schale", als die man am ruhenden Menschen die gesamte Haut und Muskulatur, also vor allem die Extremitäten bezeichnet, das heißt 52 % der gesamten Körpermasse, mit nur 18 % an der Wärmebildung beteiligt ist (Achoff und Wever).

Somit bleibt also im Indifferenzbereich und darüber die Wärmeabgabe die variable Größe für den Wärmehaushalt. Wenn man weiß, daß bei einem Erwachsenen von 60 kg Gewicht und einem Ruhe-Nüchternumsatz von 1700 Kcal/24 Std. eine Wärmemenge anfällt, die ausreichen würde um seinen Körper (spezifische Wärme 0,83 gcal) pro Stunde um $1,4^{\circ}\text{C}$ zu erwärmen, wird es verständlich, daß es notwendig ist, diese Wärme abzugeben, um eine Konstanterhaltung der Kerntemperatur zu erreichen, wie es für unser Leben notwendig ist. Um dies zu gewährleisten verfügt der Organismus über verschiedene Regulationsmechanismen.

Von der Wärmebildung wurde bereits gesprochen. Wird es nun erforderlich, daß sich unser Körper einer Außentemperatur anpaßt, die unter dem Behaglichkeitsbereich liegt, so muß er, um nicht auszukühlen, mehr Wärme bilden. Das wird erreicht durch erhöhte Verbrennungsvorgänge, also durch Einsetzen der sog. "chemischen Regulation".

In Temperaturbereichen oberhalb des Behaglichkeitsbereiches aber hat die chemische Regulation ihre Grenzen. Der Organismus muß also auch Möglichkeiten haben, um seine Wärmeabgabe zu erhöhen. Die Wege der Wärmeabgabe sind:

- a) Wasserdampfabgabe durch die Haut und die Lungen, auch als extrarenale Wasserausscheidung bezeichnet. Sie geschieht unsichtbar und unmerklich und wird als "Perspiratio insensibilis" bezeichnet.
- b) Wärmeabgabe durch Ausscheidung von Wasser auf die Hautoberfläche und dessen Verdunstung (Schwitzen).

- c) Wärmeabgabe durch Abgabe einer gegenüber der Einatemungsluft wärmeren Ausatemungsluft.
- d) Wärmeabgabe der Haut durch Abstrahlung, Leitung und Konvektion.

Wärme erweitert die Hautgefäße. Dadurch kann in der Zeiteinheit mehr Blut zufließen. Damit gelangt mehr Wärme aus den Körperkerngebieten in die Haut, deren Temperatur ansteigt. Die höhere Hauttemperatur führt zu erhöhter Wärmeabgabe durch Perspiration, Transpiration, Konvektion und Strahlung. Diese "physikalische Regulation" wird also durch Änderung der Vasomotorik zustande gebracht.

Die Steuerung dieser Vorgänge obliegt dem Wärmeregulationszentrum. Die Vorgänge werden über einen Regelkreis reguliert. Der Haut fällt dabei eine wesentliche Steuerfunktion zu. Sie enthält nämlich "Temperaturfühlzellen". Für die Kälteempfindungen sind es die "Krause'schen Endkolben", für die Wärmeempfindung die "Ruffinschen Körperchen". Diese Zellen leiten auf zentripetalen Bahnen ihre Impulse über das Rückenmark dem Gehirn zu. Das Wärmeregulationszentrum ist im Hypothalamus lokalisiert. Ohne bewußt zu werden, werden die einlaufenden Impulse dort umgeschaltet und an das Gefäßregulationszentrum weitergeleitet. Von da gelangen die entsprechenden "Befehle" nun auf zentrifugalen Bahnen wieder zurück zu den Hautgefäßen der Peripherie.

Die Extremitäten, die den wirksamen Anteil der Schale in wärmeregulatorischer Hinsicht darstellen (s.o.) eignen sich für diese Aufgabe besonders gut. Man kann sie nach Aschoff als "Effektoren" der Temperaturregulation betrachten, weil sie es dem Körper ermöglichen - bedingt durch die günstigen Verhältnisse von Oberfläche und Volumen und durch die große Variationsmöglichkeit der Durchblutung - die im Kern gebildete Wärme an die Umgebung abzugeben.

Das Oberflächen-Volumen-Verhältnis von $0,1 \text{ cm}^{-1}$ am Rumpf würde nicht ausreichen, um die gebildete Wärme abzugeben. Der Körper würde ständig wärmer (s.o.). Um die Temperatur aber konstant zu halten bedient sich der Körper der Gebiete, die mit großer Oberfläche an die Außenwelt grenzen, ohne dabei zu große Volumina zu besitzen. Dies sind in bevorzugtem Maß die Extremitäten. Das Verhältnis verbessert sich, je weiter man nach distal vom Kern geht und erreicht an den Fingern mit $2,2 \text{ cm}^{-1}$ seinen Höhepunkt. In Ruhe wird in den Extremitäten verschwindend wenig Wärme produziert (ca. $1/5$ dessen, was im Rumpf gebildet wird), so daß sich diese zur Abgabe der überschüssigen Wärme und damit zur Wärmeregulation besonders eignen.

Deshalb sind auch die Extremitätentemperaturen in einem bestimmten Bereich für einen bestimmten Regulationszustand kennzeichnender als die Integrale Hauttemperatur (Aschoff, Koe und Höfler).

Den Wärmestrom vom Kern zur Umgebung kann man in zwei Abschnitte ein-

teilen:

1. innere Wärmestrom: vom Kern bis zur Haut
2. äußerer Wärmestrom: von der Haut in die Umgebung

$$[1] \text{ ad 1 : } Q_i = k_i (T_k - T_h) \quad [\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$[2] \text{ ad 2 : } Q_{\ddot{a}} = k_{\ddot{a}} (T_k - T_u) \quad [\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}]$$

Bei ausgeglichener Bilanz sind innerer- und äußerer Wärmestrom gleich groß. Man kann also Gleichung [1] + [2] gleichsetzen und erhält:

$$[3] Q_i = Q_{\ddot{a}} = k_i (T_k - T_h) = k_{\ddot{a}} (T_k - T_u).$$

Dabei bedeuten:

T_k = Kerntemperatur

T_u = Umgebungstemperatur

T_h = Hauttemperatur

k_i = innere Wärmeübergangszahl

$k_{\ddot{a}}$ = äußere Wärmeübergangszahl

k_1 und $k_{\ddot{a}}$ fassen alle Bedingungen zusammen, die den Wärmetransport vom Kern zur Umgebung beeinflussen können. Die Wärmedurchgangszahl k_1 kann nach der Formel [4] ermittelt werden:

$$[4] k_1 = \frac{Q_{\ddot{a}}}{T_k - T_h} \quad [\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}]$$

Sie wird durch die Dicke der Schale und die dadurch wechselnde Isolationsgröße, die Wärmeleitzahl des Gewebes und die Wärmeübergangsbedingungen an Grenzflächen (Aschoff) beeinflusst. Sie gibt an, wieviel cal pro cm^2 Körperoberfläche in einer Minute bei 1°C Temperaturdifferenz zwischen Kern und Haut vom Körper abgegeben werden.

Aschoff fand bei plethysmographischen Durchblutungsmessungen an der oberen Extremität eine sehr gute Korrelation zwischen Wärmedurchgangszahl und Durchblutung. Diese aufgezeigten Beziehungen sind besonders im Indifferenzbereich von wesentlicher Bedeutung.

Im Indifferenzbereich wird die gesamte Wärmeabgabe durch Änderung der Schalendurchblutung vasomotorisch reguliert. Nach Effenberger kann der unbedeckte Mensch unter Grundumsatzbedingungen seine Temperatur nur im Bereich einer Indifferenztemperatur von $28 - 30^\circ\text{C}$ konstant halten. Nach oben hin ist der Indifferenzbereich begrenzt durch den Temperaturwert, bei dem die aktive Schweißsekretion beginnt. Das ist etwa bei 31°C .

Die untere kritische Temperatur liegt nach verschiedenen Angaben bei 26 bis 28° C. Sie ist dadurch charakterisiert, daß die Skelettmuskulatur ihren Tonus ändert und so vermehrt Wärme bildet.

Der Indifferenzbereich ist also ziemlich eng. Auch sind die Grenzen nicht ganz festzulegen, denn die Dicke des subcutanen Fettpolsters und damit die Isolationskraft der Schale unterliegen großen individuellen Schwankungen.

3. Fragestellung

Verschiedene Autoren (Kisskalt, McConnel und Yaglou, Talbot, zitiert nach Högger) haben gefunden, daß, abgesehen von ganz extremen Bedingungen, die Luftfeuchtigkeit kaum einen Einfluß auf die Hauttemperatur ausübt.

Eine Änderung der Luftfeuchtigkeit bei zunächst gleichbleibender Hauttemperatur muß doch aber das bestehende Gleichgewicht (siehe Formel 3 Seite 11) zwischen innerem und äußerem Wärmestrom stören.

Es wäre doch erstaunlich, wenn eine Änderung des Wärmestroms, hervorgerufen durch eine andere Luftfeuchtigkeit der Umgebung, keine Folgen hätte.

Von Thauer und Mitarbeitern wurde auch ein Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Hauttemperatur gefunden. W. Müller konnte dies in Versuchen, die dieser Arbeit unmittelbar vorausgingen, bestätigen. Es fanden sich steigende Hauttemperaturen mit steigendem Wasserdampfdruck. Um diese Zusammenhänge zu erklären, können Ergebnisse von Untersuchungen beitragen, die von Thauer und Mitarbeitern und von Büttner angestellt wurden. Dort fand sich mit zunehmendem Dampfdruck eine Abnahme der Perspiratio insensibilis, was formal gleichbedeutend wäre mit einer Verschlechterung der äußeren Wärmeübergangsbedingungen. Diese könnte ausgeglichen werden durch eine erhöhte Hauttemperatur. Dann müßte aber auch k_1 , die innere Wärmeübergangszahl erhöht werden, um das in Formel [3] angegebene Gleichgewicht zu wahren.

Allerdings fanden alle Versuche der genannten Autoren in oder über dem Indifferenzbereich statt, und es wurde zudem unter sehr extremen Bedingungen gearbeitet, wie etwa bei Thauer mit 8 - 92 % relativer Luftfeuchtigkeit.

Deshalb wurde in dieser Arbeit die Luftfeuchtigkeit in sehr engen Grenzen um die Schwülegrenze von Scharlau (14 mmHg) variiert. Die von uns untersuchten Wasserdampfdrucke lagen in dem Bereich von 9 - 20 mmHg. Unsere Temperaturen lagen zwischen 26 und 29° C. Sowohl Feuchtigkeit als auch Temperatur befanden sich also in Bereichen, wie sie unter natürlichen Bedingungen auch vorkommen können.

Daraus ergab sich im Einzelnen folgende Fragestellung:

1. Wie verhalten sich in unserem Bereich die Körpertemperaturen (unter besonderer Berücksichtigung der Extremitätentemperatur) in Abhängigkeit vom Dampfdruck der Luft.
2. Besteht im untersuchten Bereich eine Beziehung zwischen der Anzeige des Frigorigraphen nach Pfeleiderer und Büttner und den Hauttemperaturen bzw. den Extremitätentemperaturen und wenn ja, wie wird sie durch die Luftfeuchtigkeit beeinflusst.
3. Wie verhalten sich in diesem Bereich die Wärmedurchgangszahlen der Hand bei Änderung der Luftfeuchtigkeit und lassen sich daraus gewisse Schlüsse auf die Art der Regulation ziehen.

B. METHODIK

1. Die Klimakammer

Die Versuche fanden in einer Klimakammer (Firma Meissner und Wurst, Stuttgart) statt.

Die Kammer liegt im Keller des Tropenmedizinischen Institutes in Tübingen und ist dadurch vor Störungen durch das herrschende Außenklima weitgehend isoliert.

Über den genauen Aufbau und die Eigenschaften der Kammer wurde in der Arbeit von W. Müller über "Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Körpertemperaturen im Behaglichkeitsbereich" berichtet, auf die ich verweisen darf.

Hier sei nur das Wichtigste ganz kurz wiederholt. Die Wandtemperatur lag in der Kammer $0,5^{\circ}\text{C}$ unter der Lufttemperatur. An der Decke, der Hinterwand und am Boden herrschte eine Luftströmung von $0,5\text{ m/sec.}$, doch waren Versuchsperson und Frigorimeter so gelagert, daß dort keine meßbare Strömung mehr herrschte.

Das jeweilige Klima wurde immer schon am Abend vor dem Versuch möglichst genau eingestellt, so daß sich die Kammer und das Inventar mindestens 12 Stunden an die neue Bedingung anpassen konnten. Wenn dann Versuchsperson und Protokolleur die Kammer betreten hatten, änderte sich meist das Klima geringfügig durch die Perspiration und die Wärmebildung der beiden und wurde dann kurz vor Versuchsbeginn nachreguliert.

Es wurde stets darauf geachtet, daß an einem Tag nur Versuche unter einer Bedingung stattfanden.

2. Meßprogramm und verwendete Geräte

Der neben der Versuchsperson in der Klimakammer anwesende Protokolleur hatte die Aufgabe, Kerntemperatur, Extremitätentemperaturen und verschiedene Rumpftemperaturen zu messen, die Frigorimeterwerte, Puls- und Atemfrequenz abzulesen und die Klimaeinstellung zu überwachen. Alle diese Werte wurden von ihm neben dem Eintragen in ein Protokollheft sofort auch graphisch festge-

halten, damit man sich ein besseres Bild über den Verlauf des Versuches machen konnte. Außerdem sah man so den Zeitpunkt besser, zu dem ein stabiles Niveau erreicht war und der Versuch abgebrochen werden konnte. Um das Klima besonders gut überwachen zu können, wurden vom Protokolleur alle 5 Minuten Trocken- und Feuchttemperatur an einem Psychrometer nach Assmann, abgelesen. Dieses Gerät hing etwa in Klimakammermitte von der Decke herab. Das Feuchtthermometer wurde in Abständen von ca. 15 Minuten von dem Protokolleur mit aqua destillata befeuchtet.

Außerdem wurden in genauen Abständen von 10 Minuten und in immer genau gleicher Reihenfolge folgende Größen gemessen:

1. Fuß-, Unterschenkel-, Oberschenkeltemperatur, Hand-, Unterarm, Oberarmtemperatur und zwar mit Thermoelementen, die durch leichtsitzende Gummibänder befestigt waren. Zehen- und Daumentemperatur wurden mit schlingenartigen Thermoelementen gemessen, die mit ca. 1 cm breiten Leukoplaststreifen befestigt wurden. Stirn-, Brust- und Epigastriumtemperatur wurde mit einem Tastelement auf Aufforderung des Protokolleurs von der Versuchsperson immer an den gleichen Stellen gemessen, die Mundtemperatur mit einem Thermoelement, das stets unter der Zunge lag. Alle Thermoelemente einschließlich eines 10buchsignen Verteilers und Ablesegalvanometers stammten von der Firma Ellab aus Kopenhagen und arbeiteten mit einer Meßgenauigkeit von $0,1^{\circ}\text{C}$.
2. Die "Abkühlungsgröße" eines Frigorigraphen nach Pfeleiderer und Büttner (siehe Einleitung Seite 1), der gekoppelt war mit einem Mehrfarben-Punktschreiber, der als Anzeigeinstrument benützt wurde. Diese beiden Geräte stammten von der Firma Hartmann und Braun, Frankfurt/Main.
3. Mittels eines photoelektrischen Pulszählers nach E. A. Müller der Firma Himmelmann Dortmund wurde die Herztätigkeit überwacht und der Puls über je 10 Minuten gezählt und dann auf eine Minute gemittelt.
4. Mit Hilfe einer Uhr wurde über eine Minute die Atemfrequenz der Versuchsperson gezählt.
5. Mit einer Kalorimeterpulle nach Aschoff (näheres siehe unten), die mit einfachen Gummiringen mit einer dünnen Kunststoffmaske am Handrücken fixiert war, wurde der Wärmestrom der Hand gemessen. Registriert wurde auf einem Lichtstrahl-Galvanometer der Firma B. Lange Berlin.

3. Die Kalorimeterpille nach Aschoff

Die Kalorimeterpille nach Aschoff ermöglicht es, den "trockenen" Wärmestrom zu messen, der je Flächeneinheit von einem bestimmten Hautgebiet in Richtung Umgebung strömt. Der Quotient aus dem Wärmestrom Q und aus der Differenz zwischen Kerntemperatur und der Hauttemperatur des untersuchten Gebietes liefert die Wärmedurchgangszahl des Gewebes. Sie hat die Maßeinheit $[\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}]$. Die Kalorimeterpille hat folgenden Aufbau: Sie besteht aus einem 1 mm starken Kunststoffring, auf den beidseits eine dünne Plastikfolie aufgeklebt ist. Gemessen wird die Temperaturdifferenz zwischen der Unterseite, die der Haut unmittelbar aufliegt und zwischen der Oberseite, die etwa 1,5 mm in die die Hautoberfläche umgebende Grenzschrift hineinragt. Diese Differenz ist dem gesuchten Wärmestrom proportional. Die Wärmedurchgangszahl der Pille dient als Proportionalitätsfaktor. Die Eichung erfolgt mit einem Wärmestrom bekannter Dichte. Untersucht wird nun, welche Temperaturdifferenz durch diesen bekannten Wärmestrom an den beiden Flächen hervorgerufen wird.

Für die von uns verwendete Pille konnten nach diesem Verfahren folgende Werte ermittelt werden:

$$6,55 \cdot 10^{-4} [\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}]$$

$$\text{bzw. } 3,93 \cdot 10^{-2} [\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}]$$

Für die Wärmedurchgangszahl des Gewebes gilt folgende Gleichung:

$$[5] \quad k_i = \frac{\Delta T_p}{T_k - T_h} \cdot k_p$$

Im Gegensatz zu Aschoff haben wir die Differenz $T_k - T_h$ unabhängig bestimmt.

Dabei bedeuten:

k_i : Wärmedurchgangszahl

T : Temperaturdifferenz zwischen Ober- und Unterfläche der Pille.

T_k : Kerntemperatur

T_h : Hauttemperatur

k_p : Wärmedurchgangszahl der Pille.

Bei anderen Meßverfahren werden beheizte Meßköpfe verwendet (z.B. in der Strömungskalorimetrie). Es ist einfach einzusehen, daß diese Meßköpfe durch ihre Eigenwärme auch dem Gewebe Wärme mitteilen und die Messungen so an Prägnanz verlieren. Dagegen liegen die Vorteile der Kalorimeterpille auf der

Hand. Das sehr kleine Eigengewicht der Pille und die geringe spezifische Wärme des verwendeten Materials ermöglichen es, mit der Pille sehr genau die physiologischen Verhältnisse zu erfassen. Damit steht ein einfaches Gerät zur Verfügung, mit dem man selbst kleinste Wärmeschwankungen und damit Durchblutungsänderungen hinreichend genau verfolgen kann.

4. Die Versuchspersonen

Die Versuche wurden an drei männlichen Versuchspersonen (Vpn.) durchgeführt:

1. Vp. H., 40 Jahre 186 cm , 70 kg
2. Vp. K., 24 Jahre 187 cm , 79 kg
3. Vp. P., 23 Jahre 181 cm , 78 kg

Nach Maddock u. Collier 1933, Herrick u. Sheard 1935, Burton u. Murtin 1935, Aschoff 1947a, Sheard und Mitarbeiter 1941, Roth u. Sheard 1948 steigen die Hauttemperaturen und ganz besonders die Extremitätentemperaturen nach eiweißreichen Mahlzeiten an. Deshalb wurde bei unseren Versuchen darauf geachtet, daß die Versuchspersonen nur eine leichte, eiweißarme Kost spätestens eine Stunde vor Versuchsbeginn zu sich nahmen. Während des Versuches war höchstens eine Brezel gestattet, was etwa 50 Gramm Weißbrot entspricht. Es wurde darauf geachtet, daß vor Versuchsbeginn keine schwerere Arbeit geleistet wurde (Weg zum Institut). In Anbetracht der langen Versuchsdauer sind wir der Ansicht, diese Faktoren vernachlässigen zu können. Während des Versuches lag die Versuchsperson auf einer bequemen Liege in etwa horizontaler Lage. Diese Liege war zur Verhinderung von Wärmestauungen mit einer Plastiksehnur bespannt. Um auch einen Wärmeverlust durch etwa vorhandene Luftbewegung auszuschließen, war ca. 10 cm unter der Aufliegefläche eine Plastikfolie ausgespannt.

Während des Versuches waren die Versuchspersonen immer wach und beschäftigten sich mit leichter Lektüre. Die Unterhaltung mit dem Protokolleur waren auf kurze Informationen beschränkt.

5. Das Versuchsprogramm

Insgesamt wurden 40 Versuche unter 6 verschiedenen Bedingungen durchgeführt.

Bei drei Versuchen konnte nur der Anfang oder das Ende ausgewertet werden.

Die drei verschiedenen Luftfeuchtigkeitsgrade waren so gewählt worden, daß sich hohe- und niedrige Feuchtigkeitsstufe in geringem Umfang um die Schwüle-grenze von Scharlau (14,1 mmHg) nach oben und unten bewegten.

Die Zeiten von Versuchsbeginn, also dem Zeitpunkt, zu dem Versuchsperson und Protokolleur die Klimakammer betraten, und der ersten Messung lagen im Mittel um 25 Minuten. Die ersten Bewegungen der Hauttemperatur konnten also nicht registriert werden. Im Mittel dauerten die Versuche 3 Stunden.

Um die Messungen nicht durch jahreszeitliche Schwankungen zu beeinträchtigen wurden die Versuche jeder Versuchsperson außer Samstag und Sonntag an aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt.

Alle unsere Versuche fanden zwischen 8 Uhr morgens und 18 Uhr abends statt. Dadurch arbeiteten wir zu einer Tageszeit, in der Stoffwechsel und Temperatur relativ konstant bleiben (Koe und Höfler). Außerdem achteten wir, um auch etwaige Tagesrhythmen zu berücksichtigen darauf, daß eine Versuchsperson entweder immer nur vormittags, oder immer nur nachmittags zu Versuchen heran-gezogen wurde.

Nach diesen Maßnahmen nahmen wir an, berechtigt zu sein, die einzelnen Er-gebnisse miteinander zu vergleichen.

Das Versuchsprogramm sah im einzelnen folgendermaßen aus:

Vp. H. vom 16.6.1964 bis zum 7. 7.64 jeweils vormittags

Vp. K. vom 14.8.1964 bis zum 28. 8.64 jeweils vormittags

Vp. P. vom 18.8.1964 bis zum 2.10.64 jeweils nachmittags

Trockentemperatur °C Feuchtttemperatur °C		Dampf- druck	rel. Feuchte	durch- geführte
Sollwerte	Istwerte	mmHg	in %	Versuche
29/24	29,0/24,2	20,3	73,9	2H(+1), 2K, 2P
29/21,5	29,0/21,7	15,7	61,9	3H , 2K, 2P
29/18	28,8/17,1	8,9	45,5	2H , 2K, 2P
26/23	26,4/22,9	19,3	80,8	2H(+1), 2K, 2P
26/20,5	26,5/20,6	15,4	69,2	3H , 2K, 2P
26/17	26,1/16,7	9,3	53,9	3H , 2K, 2P(+1)

Das in der obersten Reihe der Tabelle in der letzten Spalte angegebene "2K" bedeutet, daß die Versuchsperson "K" unter der Bedingung 29/24 zwei Versuche durchgeführt hat. Das "2P(+1)" in der untersten Spalte obiger Tabelle bedeutet, daß die Versuchsperson "P" unter der Bedingung 26/17 zwar 3 Versuche unternommen hat, daß aber von einem der drei Versuche nur Teile zur Auswertung gelangt sind.

In der Tabelle sind die Sollwerte und die Mittelwerte sämtlicher Versuche zusammengestellt, aus denen sich relative Feuchte und Dampfdruck errechnen ließen. Im Text sind, falls nicht ausdrücklich erwähnt, nur Sollwerte angegeben.

6. Auswertungsmethoden

Ausgewertet wurden, falls möglich, von jedem Versuch der Anfang, die Mitte und das Ende. Dabei wurden von je 5 Messungen die Mittelwerte gebildet. Gemessen wurde alle 10 Minuten. So entspricht der Anfang der Zeit von 0 - 40 Minuten. Um die Mittelwerte der Zeit "Mitte" vergleichen zu können, nahmen wir als Mitte immer die Zeit von 100 - 140 Minuten. Als "Ende" wurden jeweils die letzten 5 Messungen verwendet. Bei der unterschiedlichen Länge der Versuche schwankt diese Zeit erheblich.

Zur Berechnung der Integralen Hauttemperatur wurde die Formel von Pfleiderer (Högger 1947) angewendet. Danach wurden die Werte von bestimmten Körperstellen mit entsprechenden Faktoren multipliziert:

Stirn	0,12
Brust	0,18
Epigastrium	0,16
Oberarm	0,08
Unterarm	0,06
Handrücken	0,03
Oberschenkel	0,18
Unterschenkel	0,14
Fußrücken	0,05

Zur statistischen Sicherung des Unterschiedes der Extremitätentemperaturen, der Wärmedurchgangszahlen, des Wärmestroms sämtlicher Versuchspersonen wurde der Wilcoxon-Zeichentest und der Wilcoxon-Rangtest verwendet.

C. ERGEBNISSE

1. Beschreibung von zwei typischen Kurvenverläufen Abb. 1 und 2

Beide Versuche stammen von der selben Versuchsperson Vp. P. Die Versuche wurden am 21.8.1964 bzw. am 25.8.1964 jeweils am Nachmittag durchgeführt. Die Umgebungstemperaturen bei den Versuchen, die den Kurven zugrunde liegen, lagen in beiden Fällen bei 26 ° C. Die dabei herrschende Luftfeuchtigkeit war relativ hoch. Die Bedingungen waren im einzelnen folgende: (Jeweils Durchschnittswerte während des ganzen Versuches)

Versuch Nr.	Trockentemperatur Feuchttemperatur ° C	Dampf- druck mmHg	rel. Feuchte %
1	26,4/22,9	19,3	80,8
2	26,5/20,6	15,4	69,2

Bei beiden Versuchen erfolgte die erste Messung ($t=0$) ca. 30 Minuten nach Versuchsbeginn. Diese 30 Minuten wurden benötigt um die Thermoelemente an den Meßstellen anzulegen. $t=0$ beschreibt deshalb nicht den tatsächlichen Anfangswert, sondern einen Zustand, in dem sich die Vp. schon teilweise auf das Klima eingestellt hat. Da die Vorbereitungszeit bei beiden Versuchen 30 Minuten betragen hat, sind die Kurven zeitlich auf einander abgestimmt und können verglichen werden.

Bei Betrachtung der beiden Versuchsabläufe (Abb. 1 und Abb. 2, Seite 15 und 16) fällt zunächst die unterschiedliche Länge auf.

Das Einstellniveau, das heißt der Temperaturbereich, in dem keine akrale Temperatur mehr eine nennenswerte Tendenz nach unten oder oben zeigt, ist um so schneller erreicht, je höher die Luftfeuchtigkeit ist.

In dem Zeitraum vom Beginn des Versuchs bis zum Erreichen des Einstellniveaus wird die in der Schale gespeicherte Wärme an die Umgebung abgegeben. Gegen Versuchsende hat sich der Körper eine neue, den Klimafaktoren entsprechende

Abbildung 1:
Erster typischer Kurvenverlauf

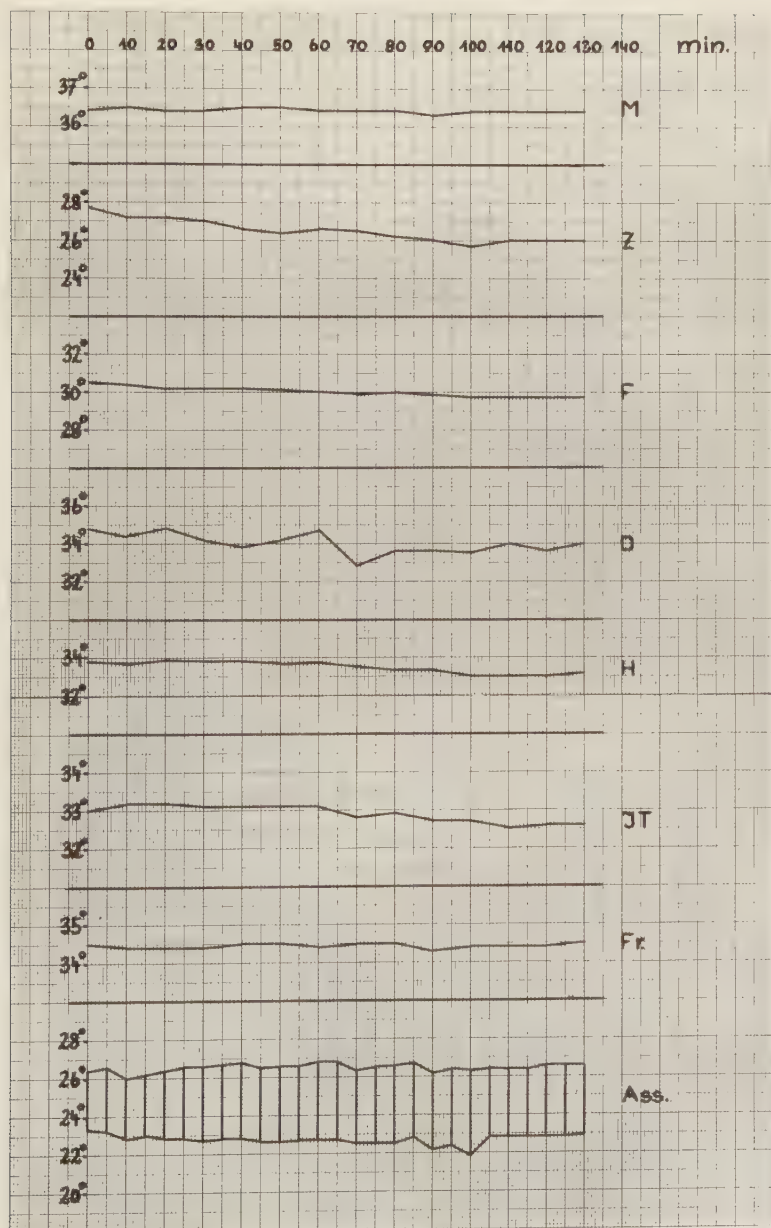
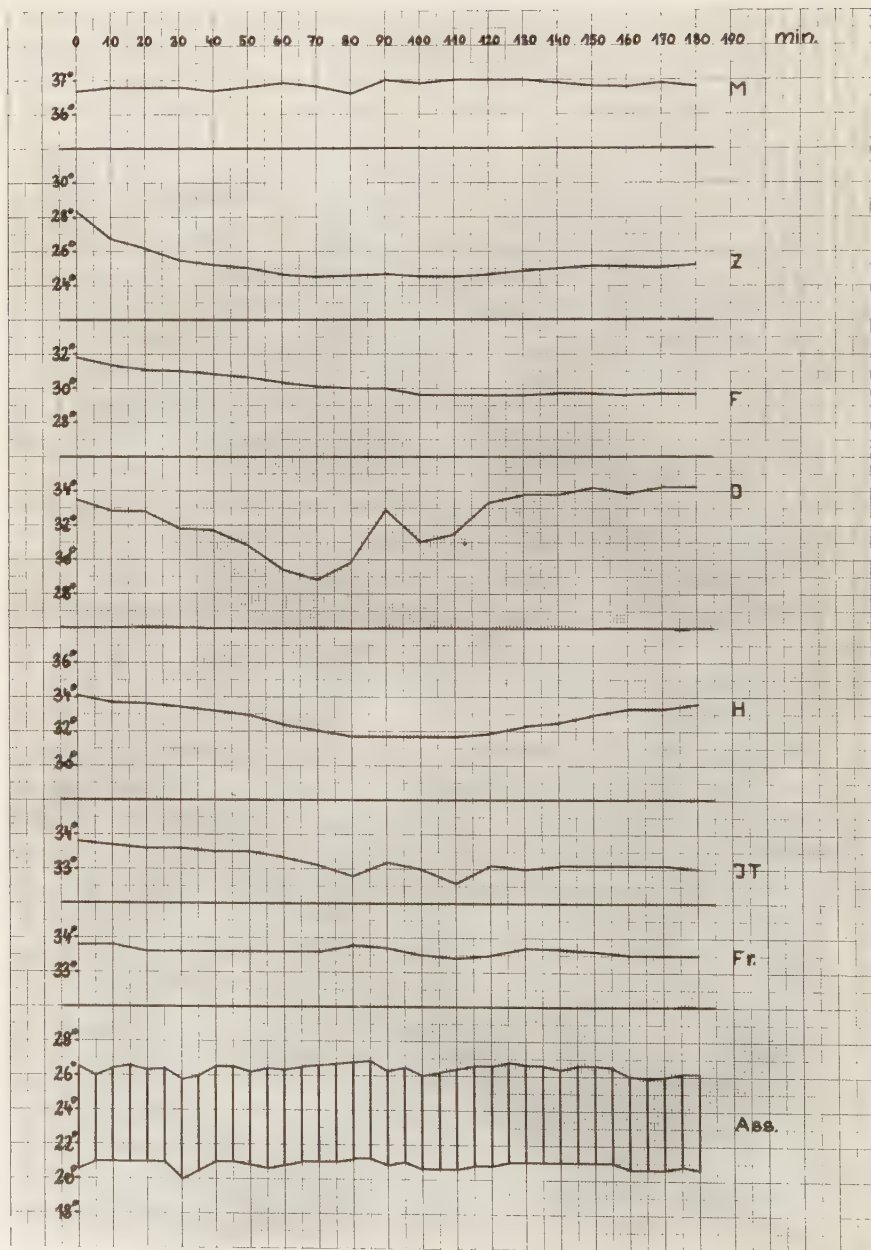


Abbildung 2:
Zweiter typischer Kurvenverlauf



Schale aufgebaut.

Genauso muß bei einer Umgebungstemperatur von 26°C mehr Wärme an die Umgebung abgegeben werden als bei 29°C . Es dauert also bei 26°C länger, bis sich der Körper eine neue, kleinere Schale aufgebaut hat. Abb. 1 Seite 15 zeigt einen Versuchsablauf bei einer relativen Feuchte von 80 %, Abb. 2 Seite 16 bei 69 %. Die Umgebungstemperatur ist in beiden Fällen 26°C .

Da ein gleich warmes, aber feuchteres Klima subjektiv als wärmer empfunden wird, als ein trockeneres Klima, könnte man erwarten, daß zum Zeitpunkt $t=0$ die Extremitätentemperaturen in Abb. 1 bereits über denen in Abb. 2 liegen würden.

Anscheinend ist aber die Feuchtigkeitsdifferenz von ca. 10 % relativer Feuchte nicht groß genug, um diesen zu erwartenden Effekt auszulösen. Tatsächlich liegt nämlich zu Anfang nur die Daumentemperatur um $1,3^{\circ}\text{C}$ höher, als der entsprechende Wert der trockenen Bedingung.

Bei der EndEinstellung liegt nur die Zehentemperatur bei hoher Feuchtigkeit $0,6^{\circ}\text{C}$ über dem Wert bei niedriger Feuchtigkeit, während die anderen Werte alle nahezu gleich hoch liegen.

Über das Verhalten der Integralen Hauttemperatur (IT) läßt sich in Abb. 1 wenig sagen. Sie zeigt zunächst einen kleinen Anstieg, dann ein kontinuierliches Absinken und erreicht etwa zum Zeitpunkt $t=100$ ihr endgültiges Niveau. Zu diesem Zeitpunkt zeigen aber vor allem Zehe, Daumen und Hand noch beträchtliche Änderungen. In diesem Fall ist die Tendenz überall steigend, nur die Temperatur des Fußes hält sich konstant auf gleicher Höhe.

Die Tatsache, daß die IT schon ihr Einstellniveau erreicht hat, während die akralen Temperaturen sich noch ändern, verstärkt die von W. Höfler vorgebrachten Zweifel an der IT als Charakteristikum für einen bestimmten thermischen Regulationszustand. Das gleiche Verhalten der IT konnte auch in anderen, hier nicht abgebildeten Versuchsverläufen gefunden werden und wurde auch in den Versuchen, die der Arbeit von G. Kolb zugrunde liegen, beschrieben. Am lebhaftesten erscheint in beiden Abbildungen die Bewegung der Daumentemperatur. Ihr pendelndes Absinken in Abb. 1 entspricht nicht einer passiven Auskühlung, sondern weist auf aktive vasomotorische Schwankungen hin. In Abb. 2 ist auffallend, daß das Endniveau über dem Ausgangsniveau liegt. Warum der Temperaturverlauf dann nicht linear verläuft und leicht ansteigt, sondern erst bis zum Zeitpunkt $t=70$ um 4°C steil abfällt, um dann ebenso steil wieder anzusteigen ist vielleicht am ehesten mit einer anfänglich überschießenden Regulation zu erklären, die dann durch umgekehrte Regulation wieder ausgeglichen wird. Die Ursache dürfte in der thermoregulatorischen Anamnese der Vp zu suchen sein.

Bei hoher Luftfeuchtigkeit schwankt die Zehe noch geringfügig und erreicht genau bei Umgebungstemperatur ihr Einstellniveau. Bei niedriger Luftfeuchte zeigt sie ein kontinuierliches Absinken. Der Verlauf, vor allem zu Anfang, erinnert an den typischen Verlauf einer Exponentialkurve, die auch ein asymptotisches Annähern an den Endwert zeigt. Bei der niedrigeren Luftfeuchtigkeit sinkt die Zehe ca. 1°C unter die Umgebungstemperatur. Dieses Verhalten läßt sich durch trockene Wärmeabgabe nicht erklären. Vielmehr muß angenommen werden, daß hier durch Schweißsekretion der Zehe Wärme entzogen wurde. Prinzipiell ist das mit einem Feuchttermometer zu vergleichen. Je niedriger die Luftfeuchte, desto weiter sinkt die Feuchttemperatur. Je höher die Luftfeuchtigkeit, desto schwerer die Wasserdampfabgabe und um so näher liegt die Feuchttemperatur der Trockentemperatur. Bei wasserdampfgesättigter Luft sind beide gleich hoch.

Insgesamt zeigt die Zehe in beiden Versuchen weniger thermoregulatorische Aktivität als der Daumen. Dies wiederum stimmt überein mit den Versuchsergebnissen von Roth und Mitarbeitern aus dem Jahre 1940, wonach bei hoher Umgebungstemperatur und Feuchtigkeit mehr die obere Extremität die thermoregulatorische Feineinstellung übernimmt.

2. Die Abhängigkeit der akralen Extremitätentemperaturen, der Kerntemperatur und der Integralen Hauttemperatur vom Wasserdampfdruck

Am einfachsten läßt sich eine Abhängigkeit der untersuchten Größen von der Luftfeuchtigkeit prüfen, wenn man die von den einzelnen Versuchspersonen gewonnenen Werte bei 29°C bzw. 26°C gegen den Wasserdampfdruck aufträgt und eine Korrelationsrechnung durchführt. Von jedem Versuch wurden hierzu für die einzelnen Meßstellen die Mittelwerte zu Beginn ($t = 0$ bis $4 = 40$), in der Mitte ($t = 100$ bis $t = 140$) und bei der Endeinstellung gebildet (A, M, E in Tabelle 1 Seite 19). Die Ergebnisse der Korrelationsrechnung sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Wie die Tabelle zeigt, läßt sich auf diese Weise nur in einigen wenigen Fällen eine Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit sichern: bei 29°C Mitte und Ende für die IT, bei 26°C Mitte und Ende für die Zehe, Mitte für Fuß und IT, Ende für Daumen. Dabei sind aber die meisten Werte für die einzelnen Versuchspersonen bei den höheren Dampfdrücken höher als bei der trockensten Bedingung. Diese Abhängigkeit wird bei der Korrelationsrechnung durch die erheblichen Unterschiede der Absolutwerte der einzelnen Versuchspersonen

Tabelle 1

Zusammenstellung der Ergebnisse für Mund(M), Zehe(Z), Fuß(F), Daumen(D), Hand(H) und Integraler Hauttemperatur (IT) bei 26°C und bei 29°C Lufttemperatur.
 k=Korrelationskoeffizient, b=Steigung der berechneten Regressionsgeraden. "b" wird in °C/mmHg angegeben und zeigt um wieviel Grad sich die Temperatur ändert, wenn sich der Wasserdampfdruck um 1 mmHg ändert. Wahrscheinlichkeitskoeffizient p. Statistisch gesicherte Werte sind unterstrichen.

	26°C / A	26°C / M	26°C / E
M	k=0,222 b=0,019 p>0,05	k=0,183 b=0,013 p>0,05	k=0,249 b=0,016 p>0,05
Z	k=0,150 b=0,099 p>0,05	k=0,153 b=0,078 p>0,05	k=0,107 b=0,056 p>0,05
F	k=0,014 b=0,007 p>0,05	k=0,268 b=0,110 p>0,05	k=0,032 b=0,015 p>0,05
D	k=0,229 b=0,087 p>0,05	k=0,272 b=0,107 p>0,05	k=0,172 b=0,107 p>0,05
H	k=0,333 b=0,064 p>0,05	k=0,361 b=0,009 p>0,05	k=0,257 b=0,129 p>0,05
IT	k=0,251 b=0,027 p>0,05	k=0,692 b=0,070 <u>p<0,01</u>	k=0,607 b=0,061 <u>p<0,01</u>
	29°C / A	29°C / M	29°C / E
M	k=0,32 b=0,017 p>0,05	k=-0,015 b=-0,002 p>0,05	k=0,003 b=0,0001 p>0,05
Z	k=0,384 b=0,199 p>0,05	k=0,677 b=0,314 <u>p<0,01</u>	k=0,510 b=0,355 <u>p<0,05</u>
F	k=0,214 b=0,080 p>0,05	k=0,473 b=0,155 <u>p<0,01</u>	k=0,344 b=0,156 p>0,05
D	k=0,234 b=0,027 p>0,05	k=0,137 b=0,019 p>0,05	k=0,591 b=0,198 <u>p<0,01</u>
H	k=-0,198 b=-0,045 p>0,05	k=-0,054 b=-0,007 p>0,05	k=0,153 b=0,028 p>0,05
IT	k=-0,323 b=-0,054 p>0,05	k=0,425 b=0,026 <u>p<0,05</u>	k=0,283 b=0,294 p>0,05

sonen verschleiert. Unter diesen Umständen ist der Wilcoxon-Rangtest für gepaarte Differenzen die geeignetere Methode zur Prüfung der Ergebnisse.

3. Die Abhängigkeit der akralen Extremitätentemperaturen vom Wasserdampfdruck

Für diese Prüfung wurde das Material in folgender Weise bearbeitet: Gesondert nach Lufttemperatur (29 bzw. 26 ° C) und Anfang bzw. Mitte bzw. Ende wurden für die einzelnen akralen Hauttemperaturen aus den jeweils 2 - 3 Versuchen mit einer Versuchsperson die Mittelwerte beim niedrigsten, beim mittleren und beim höchsten Dampfdruck gebildet. Die Differenzen zwischen diesen Mittelwerten wurden nach dem Wilcoxon-Rangtest für gepaarte Differenzen geprüft und zwar jeweils für alle Meßpunkte bei allen drei Versuchspersonen zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Dampfdruck. Die Ergebnisse sind aus den Abbildungen 3 - 5 zu entnehmen. Dabei sind die Mittelwerte für die einzelnen Meßstellen von 3 Vpn gegen den Wasserdampfdruck aufgetragen. Die Doppelbuchstaben vor den einzelnen Kurven bezeichnen Meßstelle und Versuchsperson (z.B. HD : Vp H, Daumen). Das Ergebnis des Wilcoxon-Rangtests ist jeweils unten angegeben. Dabei zeigt sich, daß zu Beginn der Versuche (Abb. 3 Seite 21) ein Unterschied der Temperaturen bei den verschiedenen Dampfdrücken nur schwach oder gar nicht zu sichern ist, während schon in der Mitte der Versuche (Abb. 4 Seite 22) und erst recht bei der EndEinstellung (Abb. 5 Seite 23) in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die akralen Extremitätentemperaturen bei den höheren Dampfdrücken höher liegen. Lediglich der Unterschied zwischen mittlerem und höchstem Dampfdruck bei 29 ° C läßt sich hier nicht sichern, da die Vp P bereits beim mittleren Dampfdruck von 15,7 mmHg höhere Extremitätentemperaturen hatte, als beim höchsten Dampfdruck von 20,3 mmHg. Insgesamt läßt sich aber feststellen, daß die akralen Extremitätentemperaturen eine klare und gut gesicherte Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck zeigen. Bei gleicher Lufttemperatur sind die akralen Extremitätentemperaturen umso höher, je höher die Luftfeuchtigkeit ist.

Bei Betrachtung der Abb. 5 läßt sich außerdem feststellen, daß die Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck für die akralen Temperaturen der unteren Extremität steiler ist als für die Temperaturen der oberen Extremität und für die untere Extremität bei 29 ° C steiler als bei 26 ° C. So beträgt für die Kurve KZ der Unterschied zwischen niedrigstem und höchstem Dampfdruck 7,1 ° C bei 29 ° C, aber nur noch 1,8 ° C bei 26 ° C. Dieser Befund steht in Einklang mit den in Ab-

Abbildung 4:

Verhalten der Extremitätentemperaturen in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck in der Mitte der Versuche.

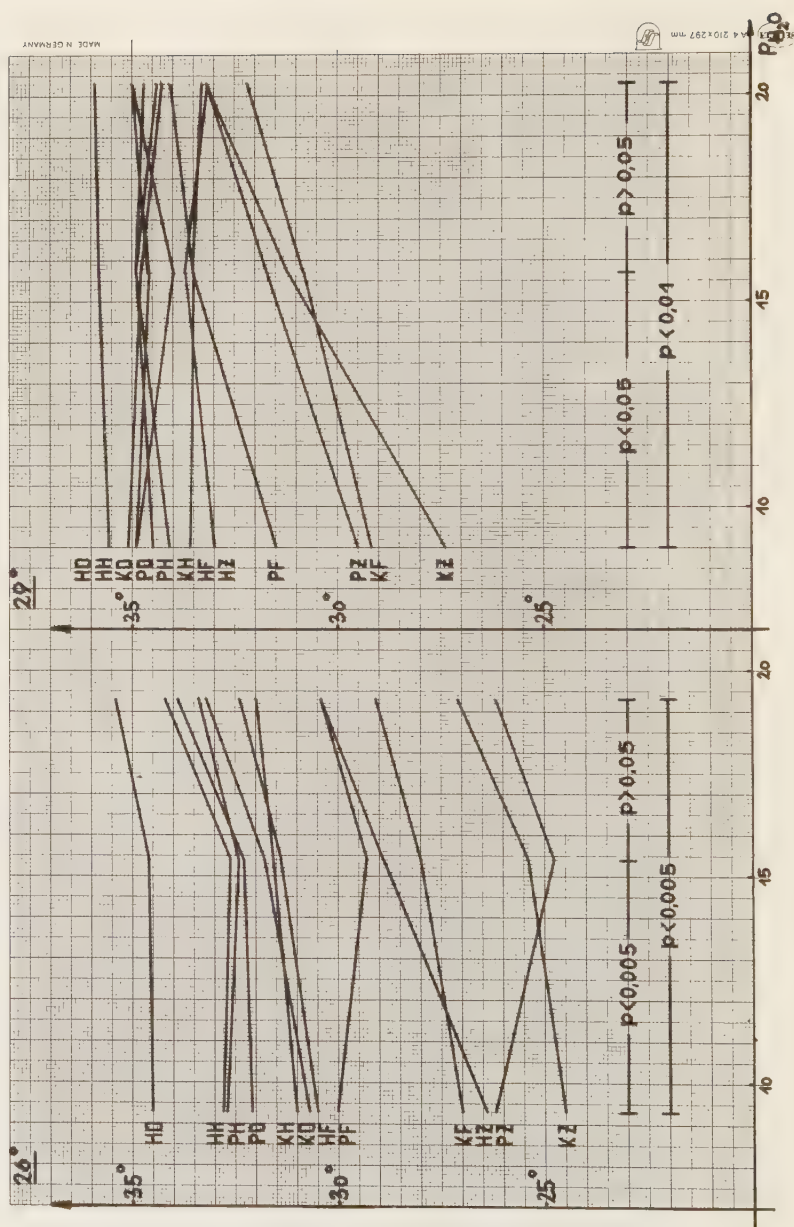
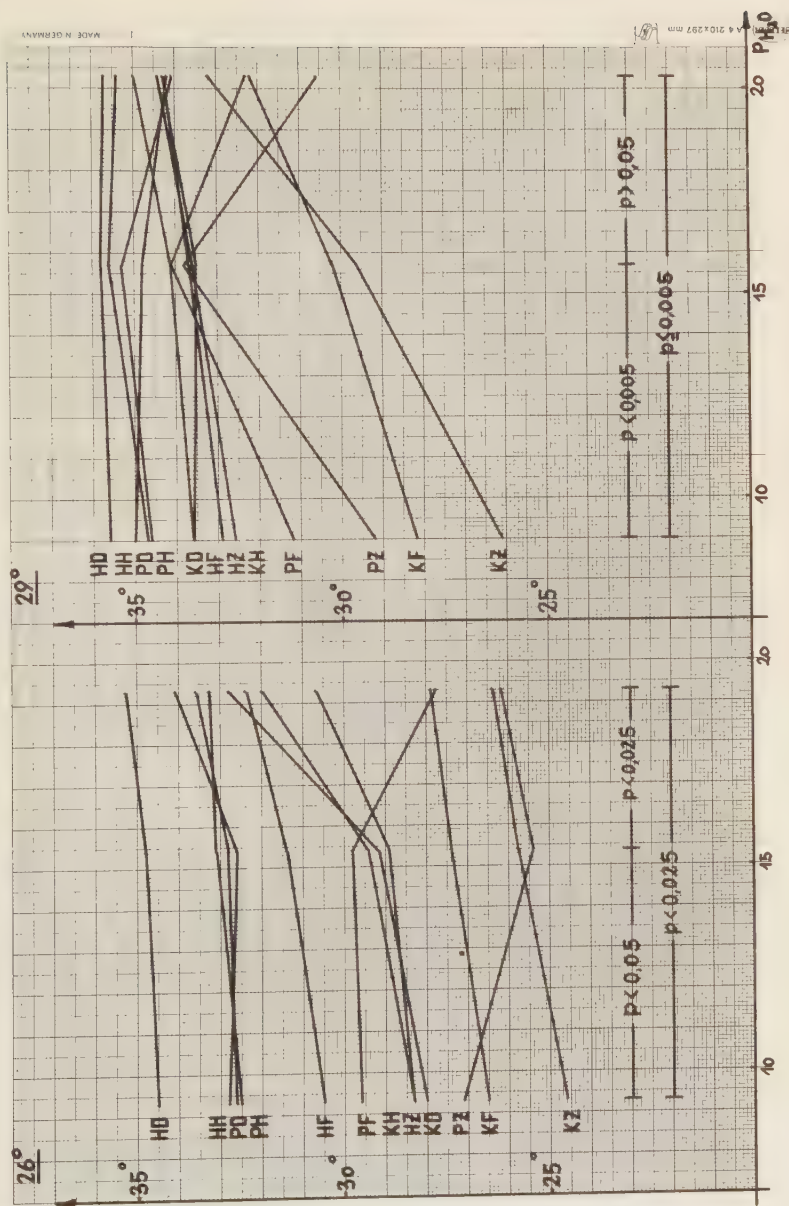


Abbildung 5:

Verhalten der Extremitätentemperaturen in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck zu Ende der Versuche.



schnitt C_1 angeführten Untersuchungen von Roth und Mitarbeitern, wonach bei höheren Lufttemperaturen die untere Extremität überwiegend an der Feineinstellung der Wärmeabgabe beteiligt ist, während im tieferen Behaglichkeitsbereich diese Funktion zunehmend von der oberen Extremität übernommen wird.

Umgekehrt verhalten sich die Temperaturen der oberen Extremität; bei 26°C Lufttemperatur sind die Handtemperaturen unter der trockensten Bedingung gut gesichert niedriger als unter der feuchtesten Bedingung ($p\ 0,01$ nach dem Wilcoxon-Rangtest; vgl. Tabelle 2). Auch das entspricht der oben dargestellten Rolle der Extremitäten in der Regelung der Wärmeabgabe.

4. Weitere Ergebnisse : Verhalten von Kerntemperatur, Integraler Hauttemperatur, von Puls und Atmung

a) Kerntemperatur

Als Kerntemperatur verwendeten wir die Mundtemperatur. Systematische Unterschiede der Kerntemperatur zwischen den Versuchen bei 26°C Lufttemperatur und bei 29°C Lufttemperatur wurden nicht gefunden. In Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck zeigt die Kerntemperatur zwar eine geringfügig steigende Tendenz, die jedoch statistisch nicht zu sichern ist (Tabelle 1).

b) Integrale Hauttemperatur (IT)

In der Mitte und am Ende der Versuche bei 26°C und in der Mitte bei 29°C läßt sich eine Abhängigkeit der IT vom Wasserdampfdruck sichern, doch ist sie dem Betrag nach mit $0,03$ bis $0,07^{\circ}\text{C}/\text{mmHg}$, also einem Unterschied von $0,3$ bis $0,7^{\circ}\text{C}$ zwischen niedrigstem und höchstem Dampfdruck minimal (Tabelle 1).

c) Puls und Atmung

Bei den 29°C -Versuchen fand sich für den Puls eine steigende Tendenz mit zunehmendem Wasserdampfdruck, bei den 26°C -Versuchen ließ sich keine Abhängigkeit ersehen. Eine statistische Sicherung war bei den stark streuenden Werten nicht möglich.

Auch bei der individuell stark schwankenden Atemfrequenz ließ sich ein Zusam-

menhang mit der Luftfeuchtigkeit nicht feststellen.

d) Die Frigorigraphenwerte

Bei 29 ° C Lufttemperatur findet sich, wie zu erwarten, keine Abhängigkeit der Frigorigraphenwerte von der Luftfeuchtigkeit. Dagegen bestand bei 26 ° C Lufttemperatur eine schwach gesicherte Korrelation zwischen Anzeige des Frigorigraphen und Luftfeuchtigkeit mit einem Steigerungsmaß von 0,08 ° C/minHg. Diese Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit ist nur scheinbar. Sie erklärt sich daraus, daß zufällig bei den hohen Luftfeuchtigkeiten auch die Lufttemperatur um rund 0,8 ° C höher lag als bei der geringsten Luftfeuchtigkeit. Mit dem Einfluß dieses Umstandes auf unsere Ergebnisse haben wir uns in der Diskussion zu befassen.

5. Die Wärmedurchgangszahl k_i in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck p_d . Abbildung 6 und Tabelle 2

Bei 26 ° C Lufttemperatur sind die Handtemperaturen unter der feuchtesten Bedingung höher als unter der trockensten Bedingung (vergleiche Abbildung 5). Dadurch ist die Temperaturdifferenz zwischen Kern und Hand herabgesetzt. $(T_k - T_h)$ beträgt bei dem Wasserdampfdruck von 9,3 mmHg 5,3 ° C, bei 19,3 mmHg Wasserdampfdruck 3,6 ° C. Der bei der trockenen Bedingung bestehende Wärmestrom zur Oberfläche kann nur aufrecht erhalten werden durch eine entsprechende Zunahme der Wärmedurchgangszahl, also eine Durchblutungssteigerung. Daß dies tatsächlich der Fall ist, ergibt sich aus den Daten der Tabelle 2 und ist in Abb. 6 dargestellt. Die Wärmedurchgangszahl, die beim niedrigsten Dampfdruck $0,017 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$ betragen hatte, verdoppelt sich bei der feuchtesten Bedingung nahezu auf $0,033 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$. Bei 26 ° C Lufttemperatur wird also der bei feuchter Luft beeinträchtigte Wärmestrom zur Oberfläche durch Zunahme der Wärmedurchgangszahl kompensiert.

Bei 29 ° C Lufttemperatur liegen die Verhältnisse grundsätzlich gleich, doch sind die Unterschiede des inneren Temperaturgefälles und der Wärmedurchgangszahl zwischen der trockensten und der feuchtesten Bedingung so gering, daß eine statistische Sicherung nicht möglich ist. Bei zwei Versuchspersonen ist $(T_k - T_h)$ bei der feuchtesten Bedingung sogar größer als bei der trockensten

Abbildung 6:
Verhalten von trockenem Wärmestrom Q und Wärmedurchgangszahl k_1 in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck der Luft.

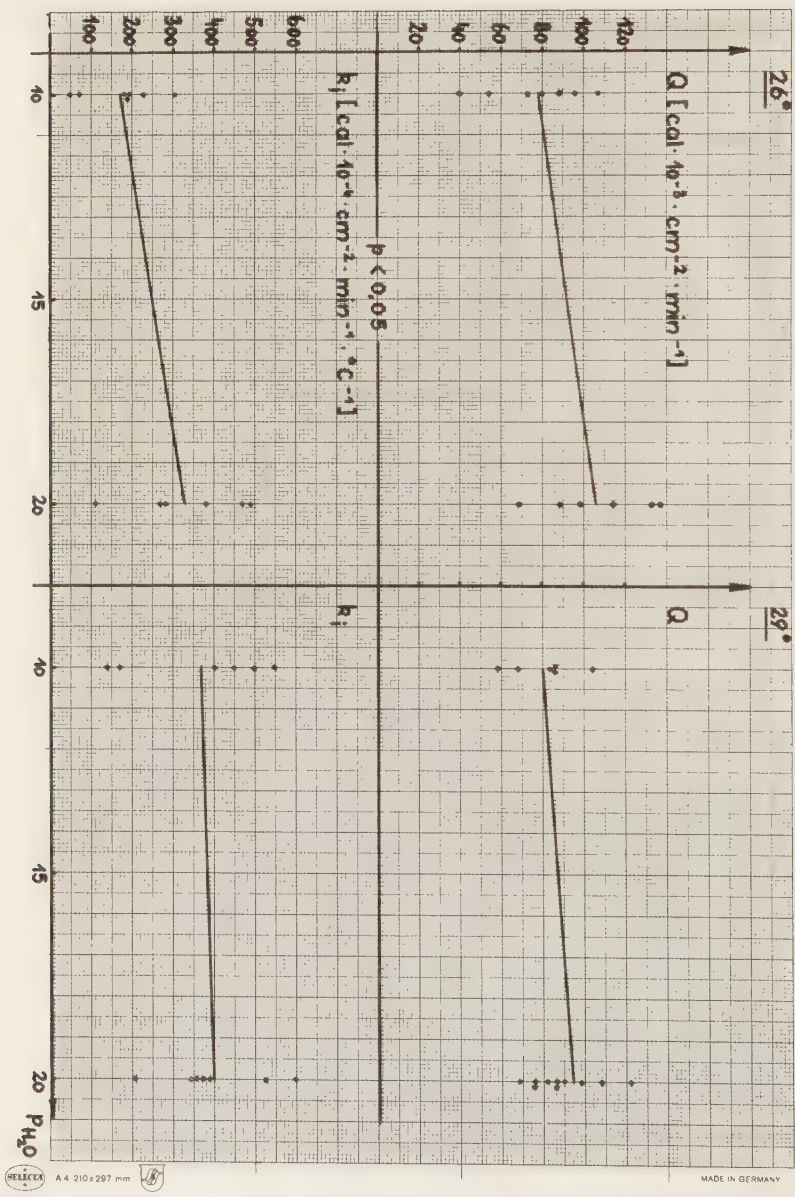


Tabelle 2

Wärmestrom Q , Wärmedurchgangszahl k_i und inneres Temperaturgefälle ΔT .

26°C Lufttemperatur

a) 19,3 mmHg Wasserdampfdruck

Q [cal. 10^{-3} .cm $^{-2}$.min $^{-1}$]	ΔT [°C]	k_i [cal. 10^{-5} .cm $^{-2}$.min $^{-1}$.°C $^{-1}$]
133	2,7	492
114	3,1	368
137	2,9	472
69	6,3	110
89	3,3	270
98	3,5	280
$\bar{M}$ 107	3,63	332

b) 9,3 mmHg Wasserdampfdruck

96	4,2	229
80	4,1	195
88	4,6	68
54	7,9	46
39	8,5	306
107	3,5	178
73	4,1	191
$\bar{M}$ 79	5,30	173

$p < 0,05$

$p < 0,01$

$p < 0,05$

Wilcoxon - Rangtest

29°C Lufttemperatur

a) 20,3 mmHg Wasserdampfdruck

Q [cal. 10^{-3} .cm $^{-2}$.min $^{-1}$]	ΔT [°C]	k_i [cal. 10^{-4} .cm $^{-2}$.min $^{-1}$.°C $^{-1}$]
122	2,32	526
76	3,64	209
82	2,32	354
90	1,50	600
108	2,90	372
76	2,20	345
98	2,50	392
$\bar{M}$ 94	2,48	400

b) 9,0 mmHg Wasserdampfdruck

86	1,90	452
86	1,70	506
68	4,00	170
58	4,20	138
84	2,10	400
104	1,90	547
$\bar{M}$ 81	2,63	369

Bedingung. Bei 29°C Lufttemperatur läßt sich somit eine Abhängigkeit der Wärmedurchgangszahl vom Wasserdampfdruck nicht nachweisen. Auch diese Ergebnisse entsprechen den oben erwähnten Besonderheiten in der Regulation der Wärmeabgabe durch die Extremitäten. Bei 29°C , im oberen Indifferenzbereich, besteht bei hohen Hauttemperaturen für die obere Extremität kaum noch die Möglichkeit thermoregulatorischer Regulation der Durchblutung.

6. Der trockene Wärmestrom Q in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck p_d Abbildung 6

Der Wärmestrom Q zerfällt in zwei Anteile. In einen feuchten und in einen trockenen Wärmestrom.

Davon beschreibt der feuchte Wärmestrom den Anteil, bei dem der Haut durch Schweißsekretion und Verdunstung Wärme entzogen wird.

Dagegen beschreibt der trockene Wärmestrom den Anteil, der durch Konvektion und Abstrahlung von der Haut zur Umgebung fließt.

Abbildung 6 zeigt das Verhalten des trockenen Wärmestroms Q bei Erhöhung des Wasserdampfdruckes der Umgebung. Wie schon im vorangegangenen Kapitel im Falle der Wärmedurchgangszahl k_i läßt sich auch hier bei 26°C Lufttemperatur für den trockenen Wärmestrom Q eine direkte Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck der Umgebung erkennen.

Wieder wurde der Endzustand unserer Versuche als Abbildung gewählt unter der berechtigten Annahme, daß zu Ende der Versuche am ehesten annähernd stationäre Wärmeübergangsbedingungen herrschen. Bei 29°C Lufttemperatur ist der Wärmestrom unabhängig vom Wasserdampfdruck.

Zur Erklärung des Verhaltens des Wärmestroms Q verweise ich auf das vorangegangene Kapitel. Das für die Wärmedurchgangszahl Gesagte gilt in analoger Weise auch für den trockenen Wärmestrom Q .

D. DISKUSSION

1. Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Körpertemperaturen und auf die Wärmedurchgangszahlen der Hand

Die Wärmeregulation des Menschen kann man theoretisch in zwei Abschnitte unterteilen.

Je nachdem, in welchem Klima sich der Mensch aufhält werden die Regulationen verschieden sein.

Betrachten wir zunächst den Bereich unterhalb der kritischen Temperatur, so wirft sich die Frage auf: Wie schützt sich der Körper unterhalb der kritischen Temperatur, also im Bereich sinkender Umgebungstemperaturen um seine Körpertemperatur konstant zu halten und nicht Gefahr zu laufen, ständig weiter auszukühlen? In diesem Bereich stehen dem Körper verschiedene, bereits bekannte Regulationsmechanismen zur Verfügung.

- a) Durchblutungssenkung durch zunehmende Vasokonstriktion. Daß die Extremitäten und hier besonders die akralen Anteile besonders günstig sind, wird aus dem anatomischen Bau der Organe und ihrem besonders gut ausgebauten System arteriovenöser Anastomosen klar.
- b) Verkleinerung des "Kernes" und Vergrößerung der "Schale", womit erreicht wird, daß wenigstens die lebenswichtigen und sehr temperaturempfindlichen Zentren des ZNS konstante Temperatur behalten.
- c) Unterhalb der sog. kritischen Temperatur zusätzlich Wärmebildung. Dies wird am wirksamsten durch Muskelzittern erreicht.

Betrachten wir nun den Bereich oberhalb der kritischen Temperatur im bzw. oberhalb des Behaglichkeitsbereiches. Hier droht dem Körper bei steigenden Umgebungstemperaturen eine Überwärmung und unsere Frage muß nun lauten: Was unternimmt der Körper im Bereich steigender Umgebungstemperaturen um nicht Gefahr zu laufen "überheizt" zu werden?

- a) Durchblutungssteigerung durch zunehmende Vasodilatation. Damit verbunden ist eine Verbesserung der Hautdurchblutung und damit eine Verbesserung der Wärmeübergangsbedingungen.
- b) Vergrößerung des "Kernes" und Verkleinerung der "Schale". Damit verbunden eine Verkürzung des Transportweges vom Kern zur Schale und beschleunigt

nigte Austauschmöglichkeit.

- c) Änderung der Schweißsekretion. Durch verstärkte Schweißsekretion und die damit verbundene erhöhte Flüssigkeitsverdunstung wird dem Körper extrem viel Wärme entzogen.

Die überragende Rolle der Extremitäten bei dieser Regulation hat Aschoff im Jahre 1958 untersucht und ausführlich beschrieben.

Durch die gute Blutversorgung, die relativ kleine Muskelmasse und vornehmlich durch das gute Oberflächen-Volumenverhältnis der Extremitäten - besonders der akralen Abschnitte - sind sie bestens dazu geeignet, überschüssige Wärme an die Umgebung abzugeben. Aschoff fand weiter, daß bei 30 ° C die Handtemperatur nahezu ihren oberen Grenzwert erreicht hat. Bei 25 ° C Raumtemperatur muß der Finger, wegen seines guten Oberflächen-Volumenverhältnisses und der daraus resultierenden starken und schnellen Wärmeabgabe, dreimal stärker durchblutet werden als die Hand, um gleiche Temperatur zu erhalten wie diese. Daraus folgt, daß bei gleicher Umgebungstemperatur die Temperatur der Hand über der der Finger liegen muß.

Dieses Verhalten konnte auch in unseren Versuchen immer wieder bestätigt werden.

Als wichtigstes Ergebnis dieser Arbeit wurde die Abhängigkeit der Extremitätentemperaturen und - allerdings in wesentlich geringerem Umfang auch der Integralen Hauttemperatur - vom Wasserdampfdruck der Luft gefunden. Mit steigendem Wasserdampfdruck fanden wir steigende Temperaturen.

Hinsichtlich der Extremitätentemperatur und der Integralen Hauttemperatur kam W. Müller bereits zu übereinstimmenden Ergebnissen. Thauer und Mitarbeiter stellten bei ihren Arbeiten über die Perspiratio insensibilis als Nebenfund eine Abhängigkeit der Integralen Hauttemperatur und der Rektaltemperatur vom Wasserdampfdruck fest. Die Befunde dieser Arbeiten wurden wie folgt erklärt: Bei höherem Wasserdampfdruck der Luft ist die Perspiratio insensibilis eingeschränkt (Thauer u. Mitarbeiter). Durch diese Einschränkung sind die äußeren Wärmeübergangsbedingungen verschlechtert (W. Müller).

Zur formalen Erklärung sei nochmals die Formel [3] erwähnt. Sie lautet:

$$Q_i = Q_a = k_i (T_k - T_h) = k_a (T_k - T_u)$$

Bei Verschlechterung der äußeren Wärmeübergangsbedingungen würde also nun k_a kleiner und damit auch das Produkt $k_a (T_k - T_u)$ kleiner. Damit wäre die Gleichung gestört. Da aber die Temperatur der Umgebung T_u konstant bleibt, muß zur Erhaltung des äußeren Wärmestroms die Hauttemperatur solange ansteigen bis Q_a wieder gleich Q_i ist. Da aber bei einer Erhöhung der Hauttemperatur die Differenz $T_k - T_h$, d. h. die Differenz zwischen Kerntemperatur und

Hauttemperatur kleiner wird, muß bei gleichbleibender Wärmeproduktion und annähernd konstanter Kerntemperatur die Wärmedurchgangszahl k_i größer werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die im Kern gebildete Wärme an die Oberfläche zu transportieren und dort an die Umgebung abzugeben.

Die einzige Möglichkeit zur Verbesserung der inneren Wärmeübergangsbedingungen ist eine Regulationsänderung im Sinne einer Durchblutungserhöhung. Damit kämen die erhöhten Extremitätentemperaturen durch eine erhöhte Durchblutung derselben zustande.

Diese Erklärung kann auch auf die Ergebnisse dieser Arbeit übertragen werden.

Wenn auch vorher von einem besonders guten Oberflächen-Volumenverhältnis der Zehen und Finger die Rede war, das die akralen Anteile als besonders predestiniert für die Temperaturregulation erscheinen läßt, so muß doch gesagt werden, daß natürlich auch Fuß und Hand an der Regulation maßgeblich beteiligt sind.

Nur unterscheiden sich diese Körperteile in einigen wesentlichen Punkten von den akralen Abschnitten.

- a) Das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen ist kleiner. Somit ist auch die Wärmeübergangsbedingung verschlechtert, denn k_a wird ja kleiner.
- b) Die Masse der Körperbezirke ist größer und damit erhöht sich die Wärmespeicherfähigkeit.
- c) Durch die kleinere Oberfläche haben sie eine geringere Perspiratio insensibilis.
- d) Durch die geringer ausgebildeten arterio-venösen Anastomosen können sie weniger wirksam in die Thermoregulation eingreifen.

Die drei ersten Faktoren haben zur Folge, daß bei 26 ° C Lufttemperatur die Fußtemperaturen immer noch absinken, während sich die Zehentemperaturen schon über längere Zeit konstant halten. Der Fuß kühlt also wesentlich langsamer aus als die Zehen.

Tatsächlich zeigt sich nämlich auch bei unseren langen Versuchen, daß die Zehentemperatur bereits nach 1 - 2 Stunden ihr Einstellniveau erreicht hat, während die Fußtemperatur immer noch weiter sinkt und auch nach über 3 Stunden noch keinen sicher stationären Zustand erreicht hat.

Die unter einer bestimmten Kombination von Lufttemperatur und Feuchtigkeit in dem hier untersuchten oberen Behaglichkeitsbereich schließlich eingestellte Hauttemperatur kommt durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren zustande: Sie ist höher bei der oberen Extremität als bei der unteren Extremität. Sie ist höher bei höherer Lufttemperatur. Sie ist höher bei höherer Luftfeuchtigkeit. Letztlich ist die Hauttemperatur immer das Resultat physikalischer Ein-

flüsse (Temperatur, Feuchtigkeit, Wind), anatomischer Besonderheiten (Oberflächen-Volumenverhältnis, Gefäßarchitektonik) und physiologischer Reaktionen (Durchblutung, Wasserverdampfung).

Als wesentliches Ergebnis dieser Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß - neben einer geringen Dampfdruckabhängigkeit der Integralen Hauttemperatur - im Prinzip die peripheren Extremitätentemperaturen bei gleicher Lufttemperatur umso höher sind, je höher die Luftfeuchtigkeit ist, und zwar besteht diese Abhängigkeit bei der hohen Lufttemperatur von 29°C für die untere, bei der Lufttemperatur von 26°C in erster Linie für die obere, in geringem Ausmaß auch für die untere Extremität. Durch die Messung der Wärmedurchgangszahl der Hand konnte nachgewiesen werden, daß bei 26°C Lufttemperatur die höhere Temperatur der Hand mit einer Durchblutungssteigerung verbunden ist. Aus dem Verhalten der Hauttemperaturen darf man vermuten, daß wir auch eine Durchblutungszunahme des Fußes mit dem Dampfdruck bei 26°C und bei 29°C festgestellt hätten, wenn wir die Wärmedurchgangszahl auch an der unteren Extremität gemessen hätten. Bei der hohen Lufttemperatur von 29°C hat die Hand offenbar nahezu das Maximum ihrer Durchblutung erreicht, und ihre Funktion der Anpassung der Wärmeabgabe an die bestehenden Bedingungen wird bei Steigerung der Luftfeuchtigkeit von den peripheren Abschnitten der unteren Extremität übernommen.

Aus den dargestellten Verhältnissen ergibt sich die folgende Interpretation der Vorgänge: Wird bei konstanter Lufttemperatur die Luftfeuchtigkeit gesteigert, dann führt dies zunächst zu einer Verminderung der Perspiratio insensibilis. Infolge der geringeren Verdunstung steigt die Hauttemperatur. Die damit verbundene Herabsetzung des inneren Temperaturgefälles wird durch eine Durchblutungssteigerung kompensiert. Die beschriebenen Reaktionen verteilen sich je nach Lufttemperatur auf die obere bzw. untere Extremität, entsprechend ihrer Funktionsteilung bei der Wärmeabgabe.

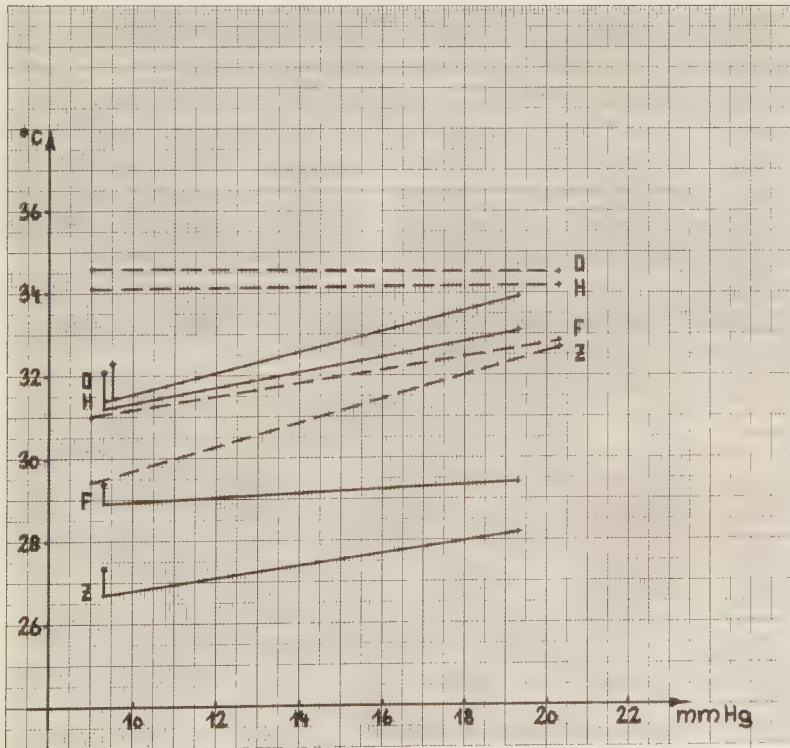
Bei 26°C Lufttemperatur hatte sich in unseren Versuchen eine Abhängigkeit der Frigorigraphenwerte von der Luftfeuchtigkeit ergeben, weil zufällig auch die Lufttemperatur beim höchsten Dampfdruck um etwa $0,8^{\circ}\text{C}$ höher lag als bei der niedrigsten Luftfeuchtigkeit. Es ist zu fragen, inwieweit die Zunahme der Extremitätentemperaturen bei höherem Dampfdruck durch diese unbeabsichtigte Erhöhung der Lufttemperatur bedingt sein kann. Vergleicht man auf der einen Seite die Abhängigkeit der Extremitätentemperaturen bei konstantem Dampfdruck von 9 - 10 mmHg von der Lufttemperatur (26 bzw. 29°C) mit der Dampfdruckabhängigkeit bei konstanter Lufttemperatur von 26°C auf der anderen Seite, dann ergibt sich, daß zwar der geringe Anstieg der Fußtemperatur von $0,5^{\circ}\text{C}$ beim höheren Dampfdruck der unbeabsichtigten Zunahme der Lufttemperatur entspricht. Dagegen ist der Anstieg der Zehentemperatur gut

doppelt, der Anstieg von Hand- und Daumentemperatur 4mal höher als der geringen Zunahme der Lufttemperatur entspricht (Abbildung 7). Daraus folgt, daß die Zunahme der Extremitätentemperaturen mit dem Dampfdruck tatsächlich auf die erhöhte Luftfeuchtigkeit zu beziehen ist.

Abbildung 7:

Mittelwerte der peripheren Extremitätentemperaturen der 3 Versuchspersonen bei 29 ° C (-----) und bei 26 ° C (——) Lufttemperatur in Abhängigkeit vom Dampfdruck.

└ bezeichnet den Betrag, der auf die um 0,8 ° C höheren Frigorigraphenwerte bei dem hohen Dampfdruck bezogen werden muß.



E. ZUSAMMENFASSUNG

An drei Versuchspersonen wurden insgesamt 42 Klimakammerversuche durchgeführt.

Dabei wurden die Hauttemperaturen bei Raumtemperaturen von 26 ° C und bei 29 ° C und bei 3 verschiedenen Luftfechtigkeiten gemessen. Gleichzeitig wurden mit einer Kalorimeterpille nach Aschoff die Wärmeabgabe der Hand gemessen und die Abkühlungstemperaturen eines Frigorigraphen nach Pfeleiderer und Büttner bestimmt.

Es konnte gezeigt werden, daß steigende Luftfeuchtigkeit bei konstanter Raumtemperatur auch die Hauttemperaturen steigen läßt.

Thauer und Mitarbeiter gelangten zu ähnlichen Ergebnissen. Im Gegensatz zu ihnen wurden unsere Versuche aber mit relativ geringen Dampfdruckunterschieden durchgeführt. Die Erhöhung der Hauttemperatur an den Akren fällt besonders stark auf. Dies liegt im anatomischen Bau dieser Körperabschnitte begründet und macht die Vermutung sehr wahrscheinlich, daß besonders die Akren und ihr Verhalten das thermoregulatorische Geschehen sehr gut widerspiegeln.

Weiter konnte gezeigt werden, daß mit steigendem Dampfdruck die Extremitätentemperaturen höher liegen. Dafür ist neben einer Durchblutungsänderung eine verminderte Perspiratio insensibilis verantwortlich.

F. LITERATUR

1. ASCHOFF J. :
Klin. Wochenschrift 36, 193 (1958)
2. ASCHOFF J. und R. WEVER:
Sonderdruck aus Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Kreislauf-
forschung, 23. Tagung, 375 (1957)
3. ASCHOFF J. und R. WEVER:
Die Naturwissenschaften 45, 477 (1958)
4. DAUBERT K. und F. AICHENGER:
Wetter - Klima - Haut
Aus "Dermatologie und Venerologie" herausgegeben von H. A. Gottron
und W. Schönfeld (1962)
5. EFFENBERGER E. :
Therapiewoche 13, 644 (1965)
6. HARTMANN und BRAUN (Firma):
Gebrauchsanweisung für den Frigorigraph nach Pfeleiderer und Büttner.
7. HÖFLER W. :
Medizinische Welt 16, 899 (1963)
8. HÖGGER D. :
Volkswirtschaft 51 (1947)
9. KAUFMANN W., R. THAUER und G. ZÖLLNER
Pflügers Archiv 261, 189 (1955b)
10. KOE K. F. und W. HÖFLER:
Pflügers Archiv 278, 93 (1963)
11. MEISSNER und WURST (Firma):
Beschreibung und Bedienungsanweisung für die Klimakammer der Firma
Meissner und Wurst Stuttgart.

12. MÜLLER E. A. und H. G. WENZEL:
Die Beurteilung des Arbeitsklimas
Handbuch d. ges. Arbeitsphysiologie Bd. I (1961)
13. PRECHT H., J. CHRISTOPHERSEN und H. HENSEL:
Temperatur und Leben (1955)
14. SEYBOLD A. und H. WOLTERECK
Klima - Wetter- Mensch (1952)
15. THAUER R. und G. ZÖLLNER:
Pflügers Archiv 258, 58 (1953)
16. THAUER R., G. ZÖLLNER und W. KAUFFMANN:
Pflügers Archiv 260, 1 (1954)
17. THAUER R., W. KAUFFMANN, G. ZÖLLNER:
Pflügers Archiv 261, 183 (1955)
18. WEVER R. und J. ASCHOFF:
Pflügers Archiv 264, 272 (1957)
19. YAGLOU:
Transactions of the Am. Soc. of Heating and Ventilating
Engineering 29, 163 (1923)
20. ZÖLLNER G., R. THAUER:
Pflügers Archiv 259, 281 (1954)

Herrn Dozent Dr. Höfler danke ich besonders herzlich für die Überlassung des Themas, für die vielen Ratschläge und für das große Entgegenkommen, sich als Versuchsperson zur Verfügung zu stellen.

Herrn Professor Dr. Fischer danke ich dafür, die für die Versuche benötigten institutseigenen Geräte benützen zu dürfen.

Besten Dank auch meinen Bekannten Fräulein Heike Willenbrock und Karin Behrmann sowie Rainer Voigt, die viele Stunden in der Klinikammer Protokoll führten sowie Gerhard Kolb, der sich als Versuchsperson zur Verfügung gestellt hatte.

Lebenslauf

Als Sohn des praktischen Arztes Dr. med. Walter Prade und seiner Ehefrau der praktischen Ärztin Dr. med. Hertha Prade, geborene Kückler wurde ich, Günter Prade, am 26.9.1940 als viertes Kind in Tetschen an der Elbe geboren.

Nachdem wir 1945 aus unserer Heimat vertrieben worden waren, fanden wir in Markgröningen eine neue Heimat. Dort besuchte ich die Volksschule, trat dann in das Mörike-Gymnasium in Ludwigsburg ein und legte am 9.3.1960 meine Reifeprüfung ab.

Im SS 1960 begann ich mein Medizinstudium an der Universität in Tübingen.

Am 6.10.1961 legte ich meine Naturwissenschaftliche Vorprüfung und am

26.3.1963 meine Ärztliche Vorprüfung an der Universität Tübingen ab.

Danach studierte ich im SS 1963 in München und war im WS 1963/64 an der Universität in Wien immatrikuliert.

Im SS 1964 kehrte ich nach Tübingen zurück. Hier habe ich im April 1967 mein Staatsexamen abgelegt.

